

Workshop

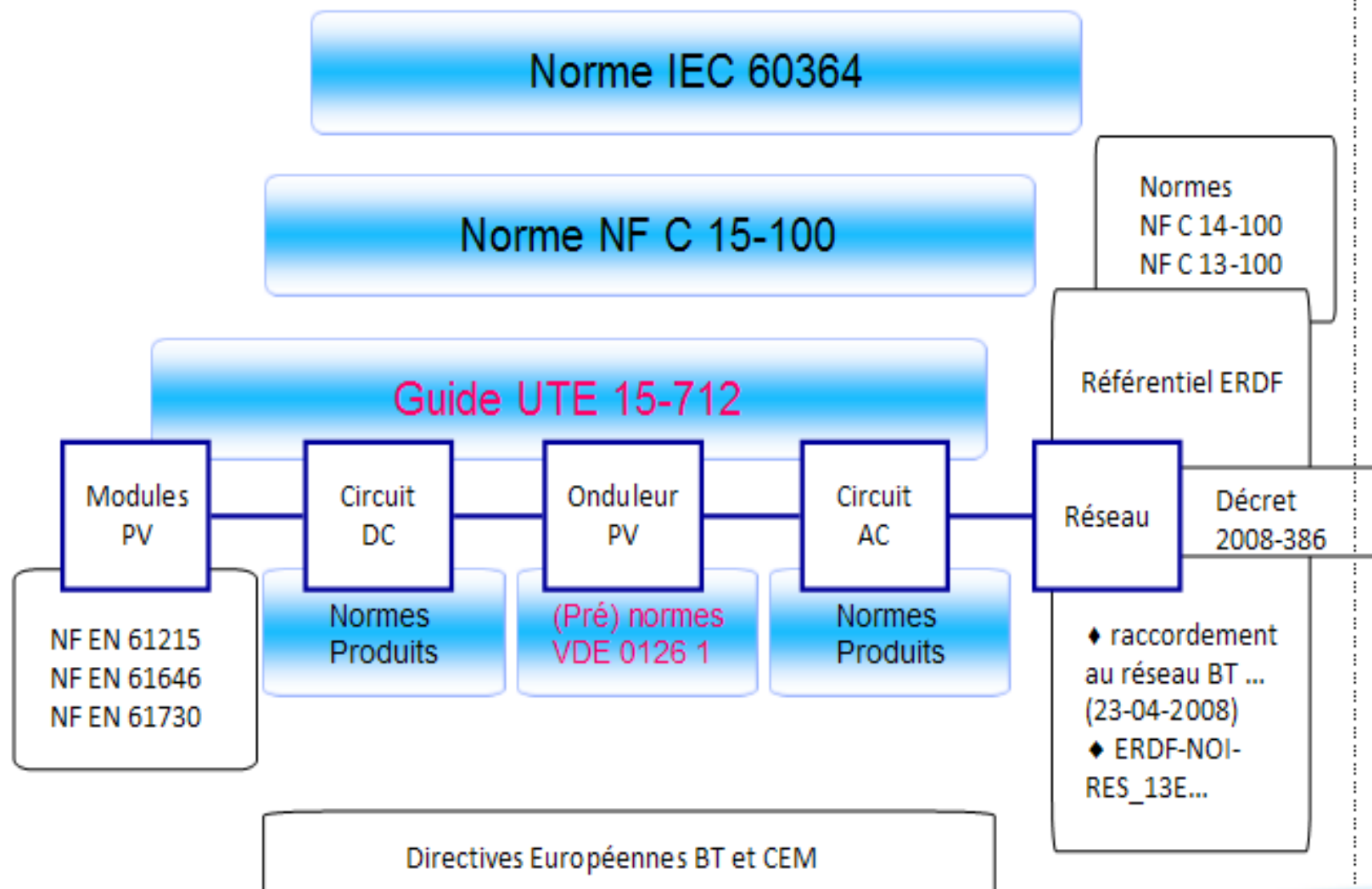
La sécurité des installations photovoltaïques raccordées au Réseau



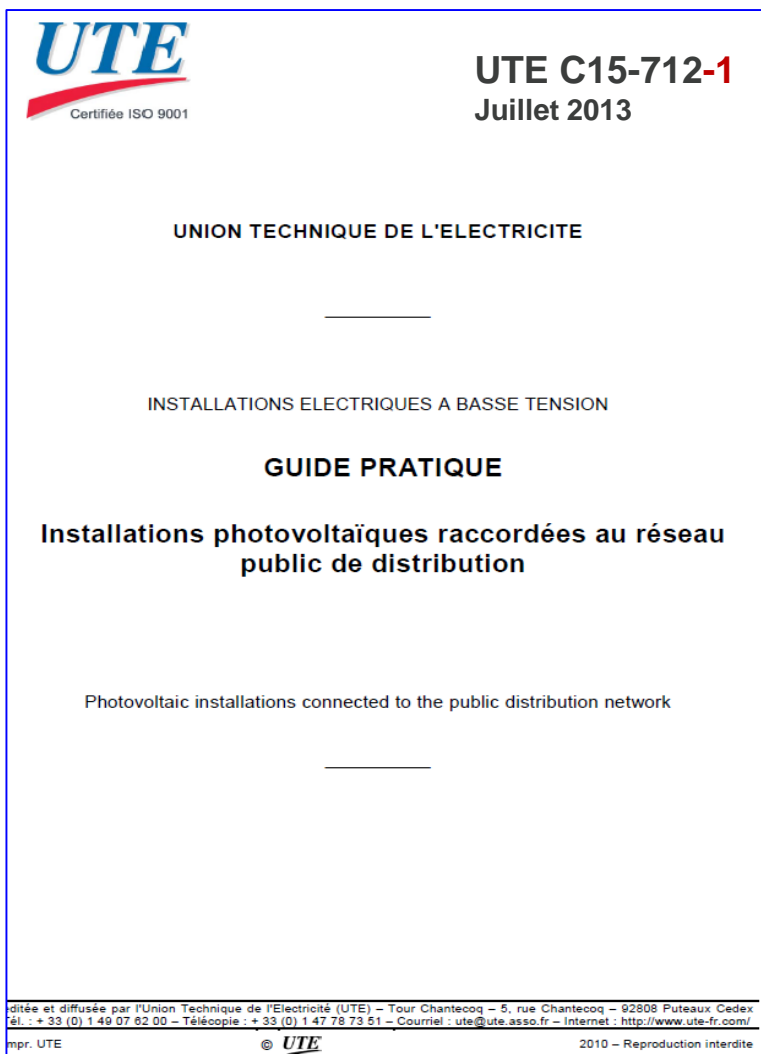
Mars 2016

► Les installations photovoltaïques

- Le générateur PV
- L'onduleur



Normes: documents de référence



Architectures des installations raccordées réseau

Installations type



Domestique
ou
Industrielle



Domestique



Industrielle



Composition

- ▶ 1- Champ PV
- ▶ 2- Boitier DC
- ▶ 3- Onduleur
- ▶ 4- Boitier AC
- ▶ 5- Comptae PV
- ▶ 6- Compteur Sous-tirage
- ▶ 7- Réseau

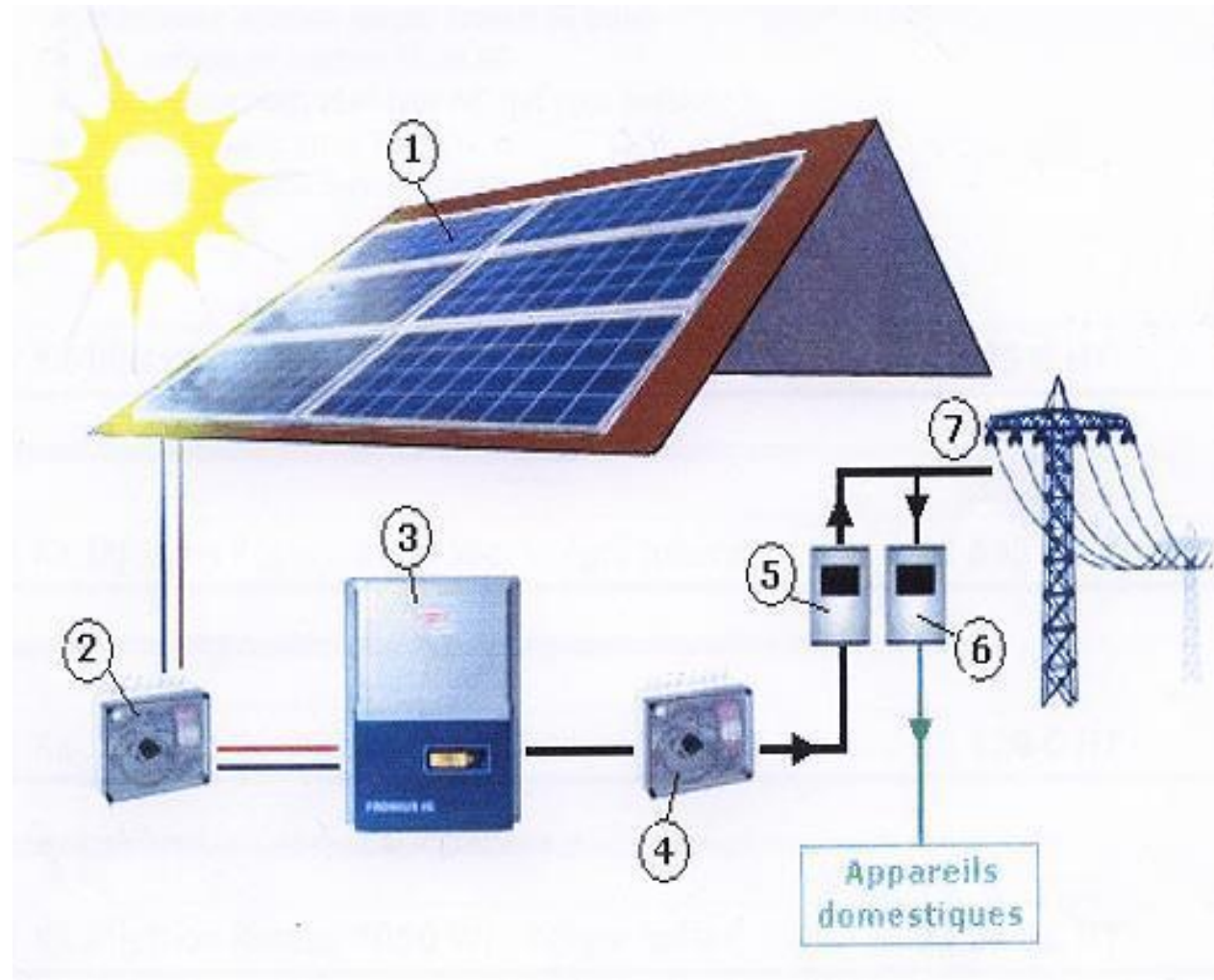
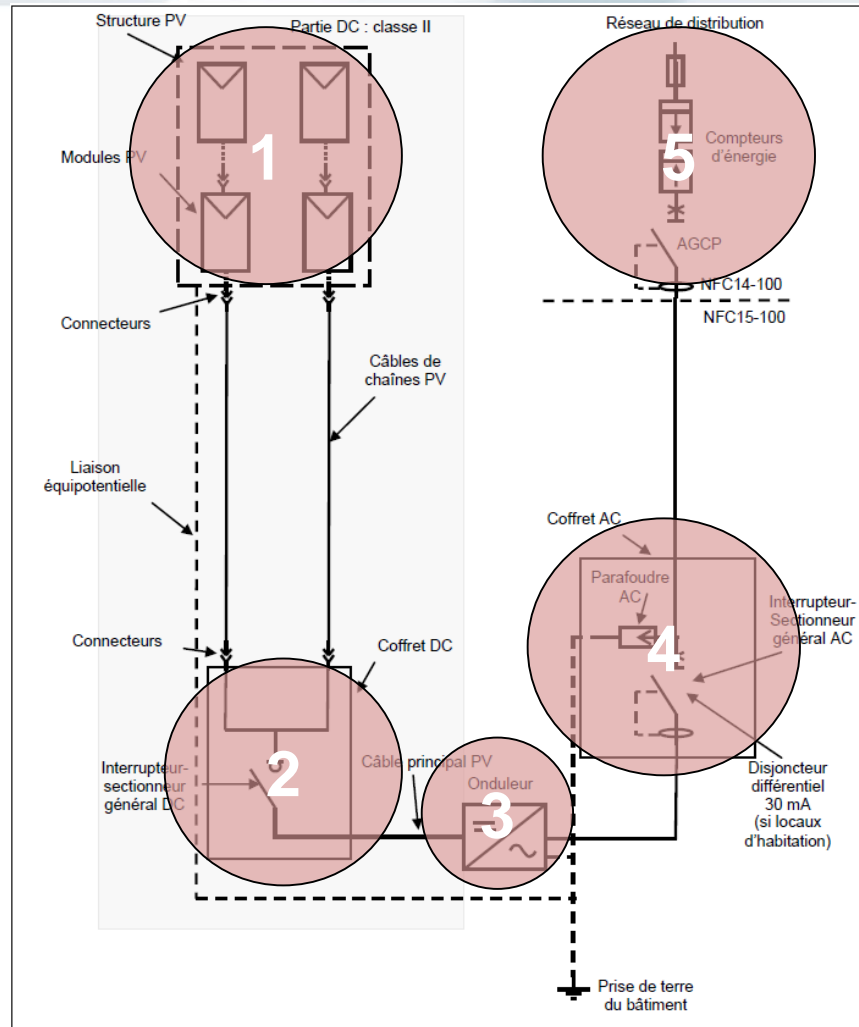
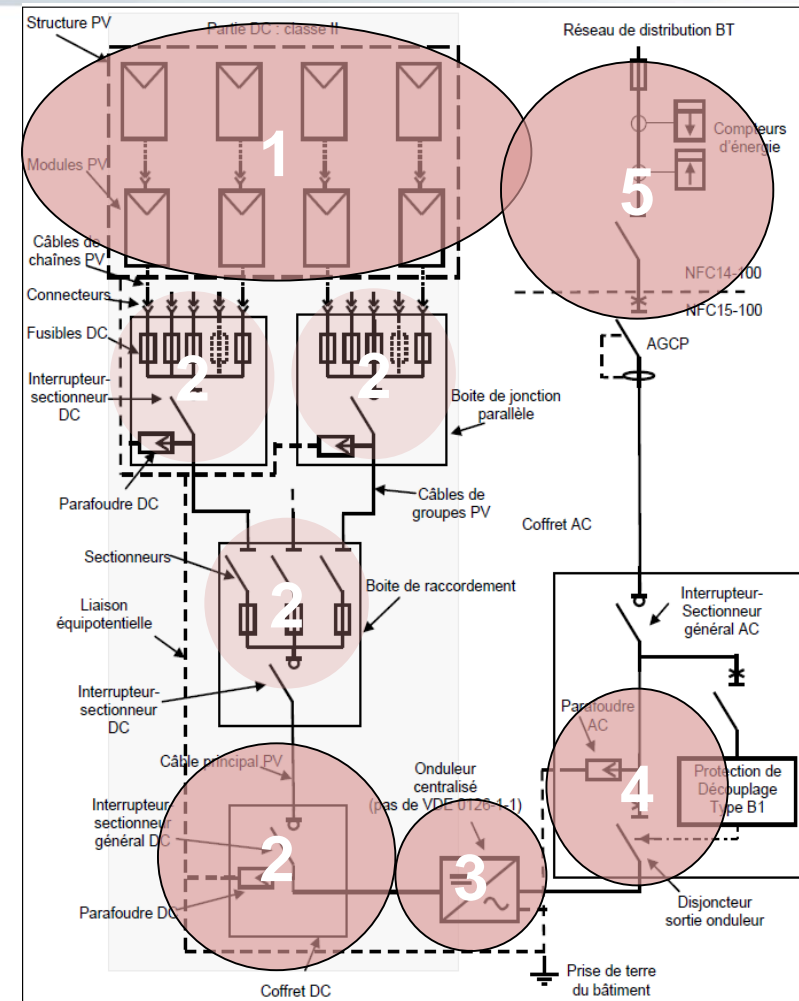


Schéma équivalent et repérage des composants



Exemple de schéma synoptique d'une installation PV raccordée au réseau BT (onduleur monophasé de quelques kVA conforme à la pré-norme VDE 0126-1-1)



Exemple de schéma synoptique d'une installation PV raccordée au réseau BT (Onduleur centralisé triphasé > 36 kVA conforme à la pré-norme VDE 0126-1-1)

Schéma type habitation

- 90% des installations.
- Producteur particulier
- Petites puissances < 9kWc
- Peu de dimensionnement, utilisation de kit PV)

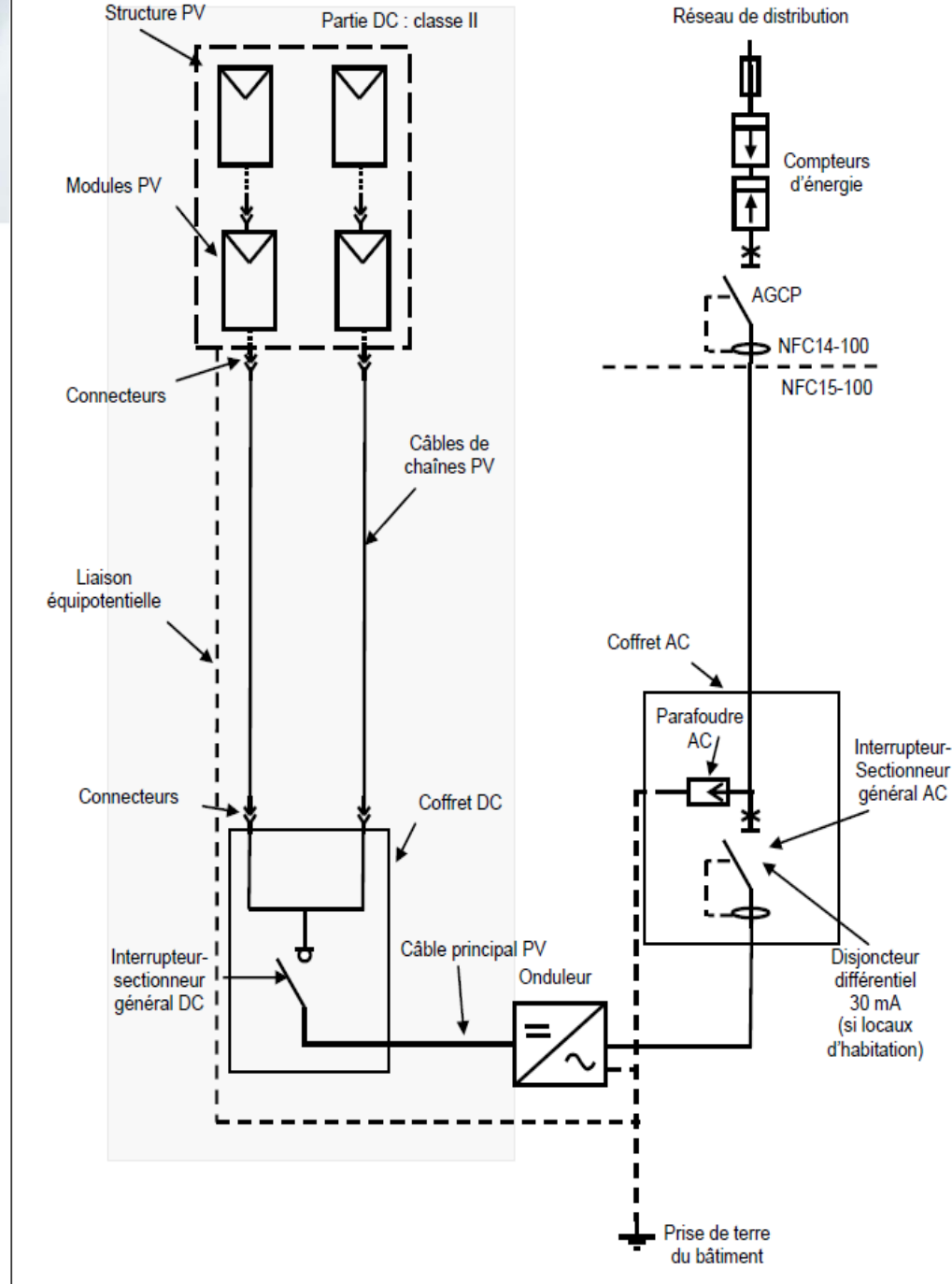
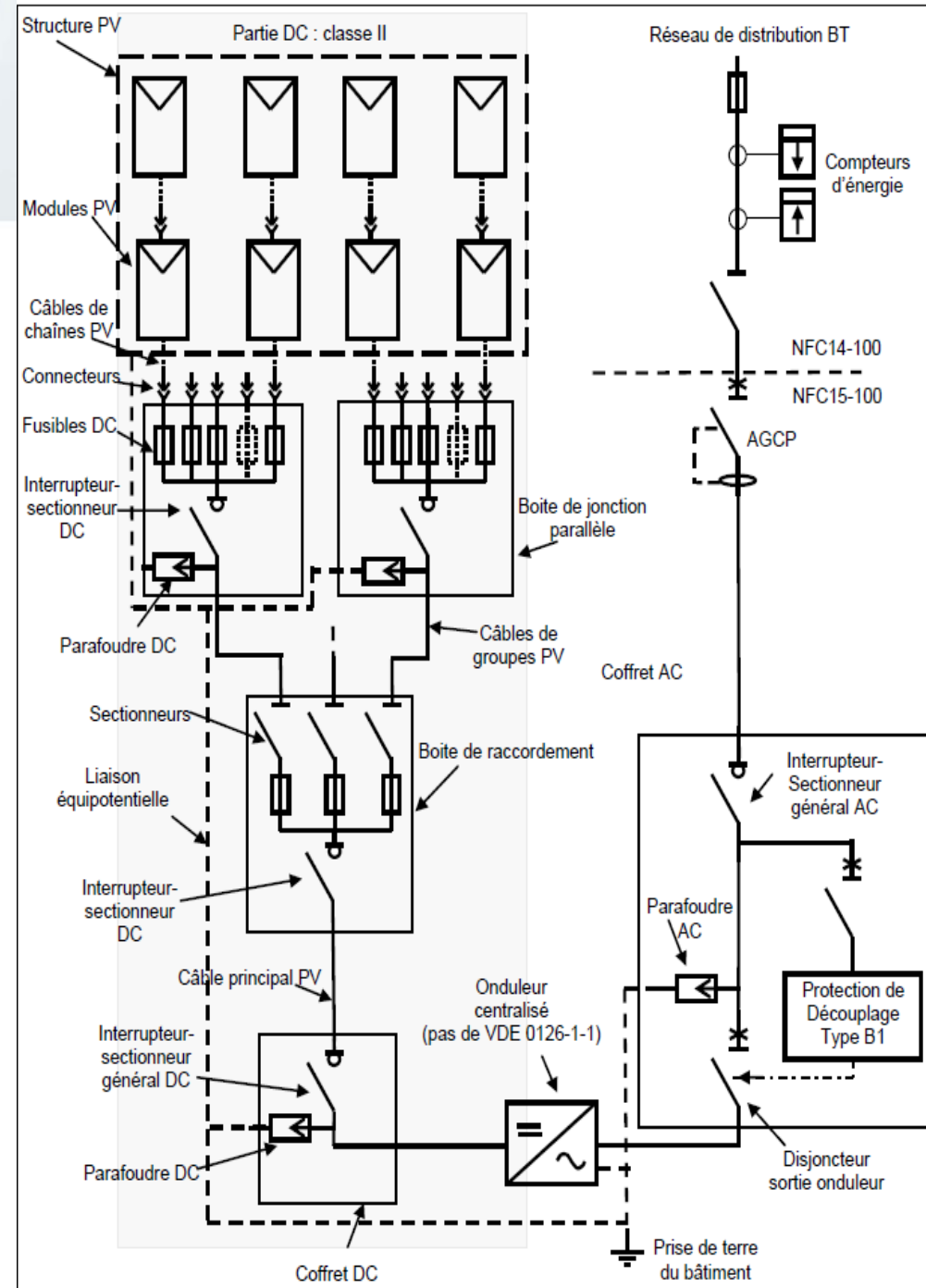


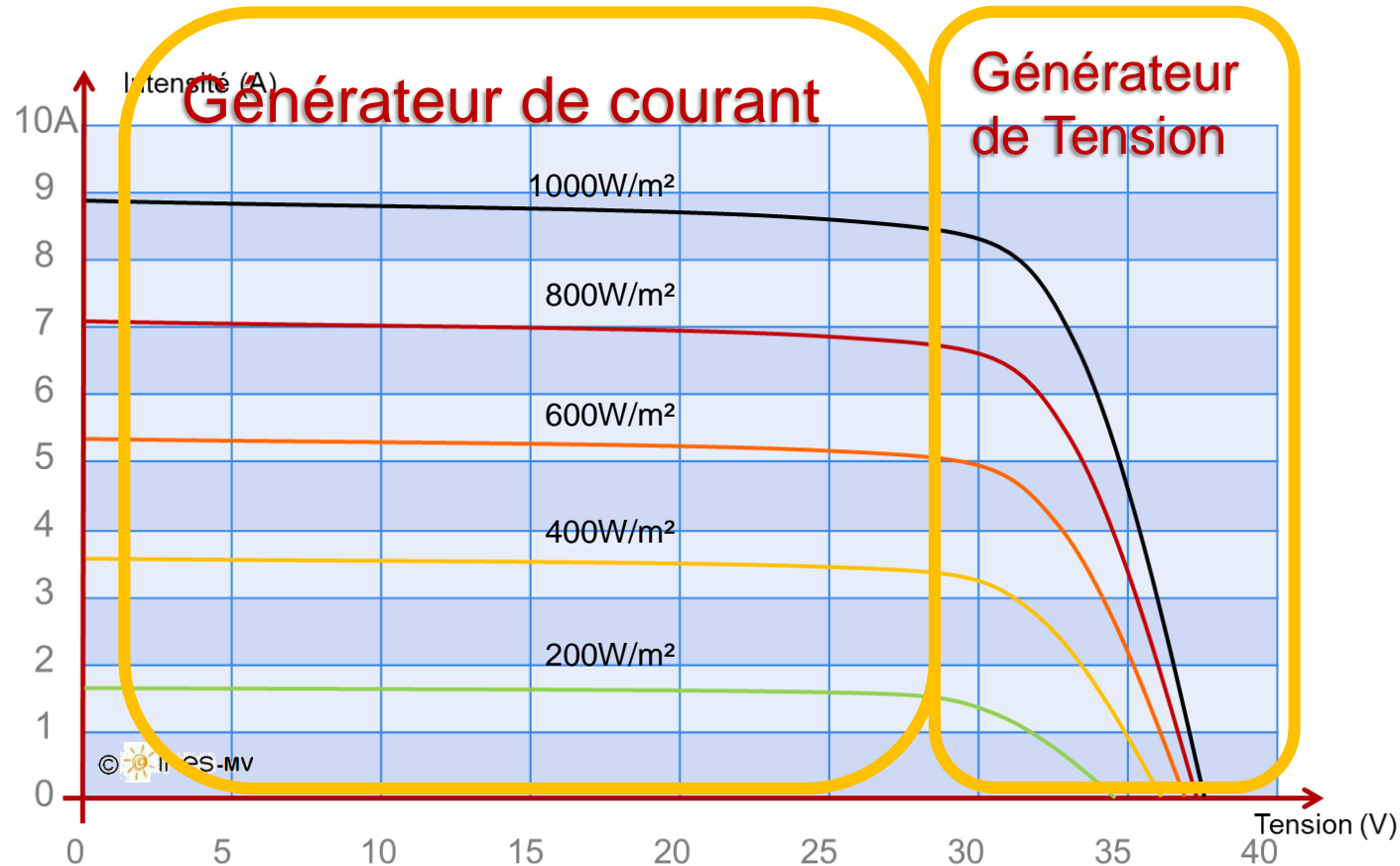
Schéma GPVR >36kVA

- Installation au sol ou sur toiture industrielle/agricole
- Puissance >36 kWc
- Dimensionnement de chaque éléments.



Le générateur PV

Caractéristiques d'un module photovoltaïque au silicium cristallin selon l'ensoleillement

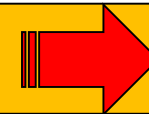


En charge: Un générateur photovoltaïque est un générateur de courant presque parfait :

- Courant de court circuit à peine 10% supérieur au courant de fonctionnement
- Courant variable selon l'ensoleillement



A vide: La tension d'un générateur photovoltaïque varie peu
Même à faible ensoleillement la tension est élevée



Le risque électrique est permanent (la journée)
La détection et l'arrêt du générateur est difficile

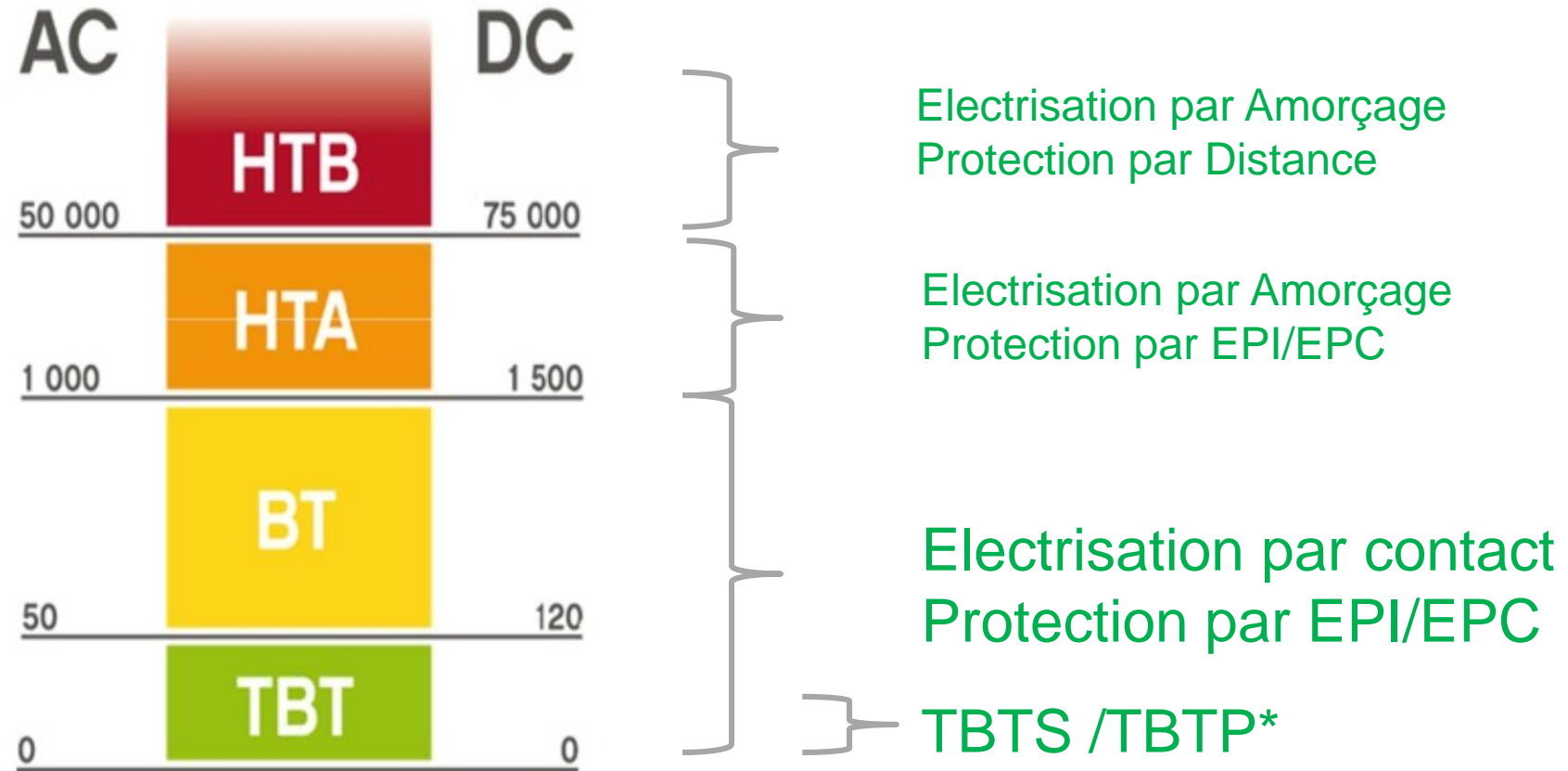


Comment savoir quand l'installation est en défaut ?
Comment stopper notre générateur ?
Comment intervenir en sécurité ?

► Protection des Personnes

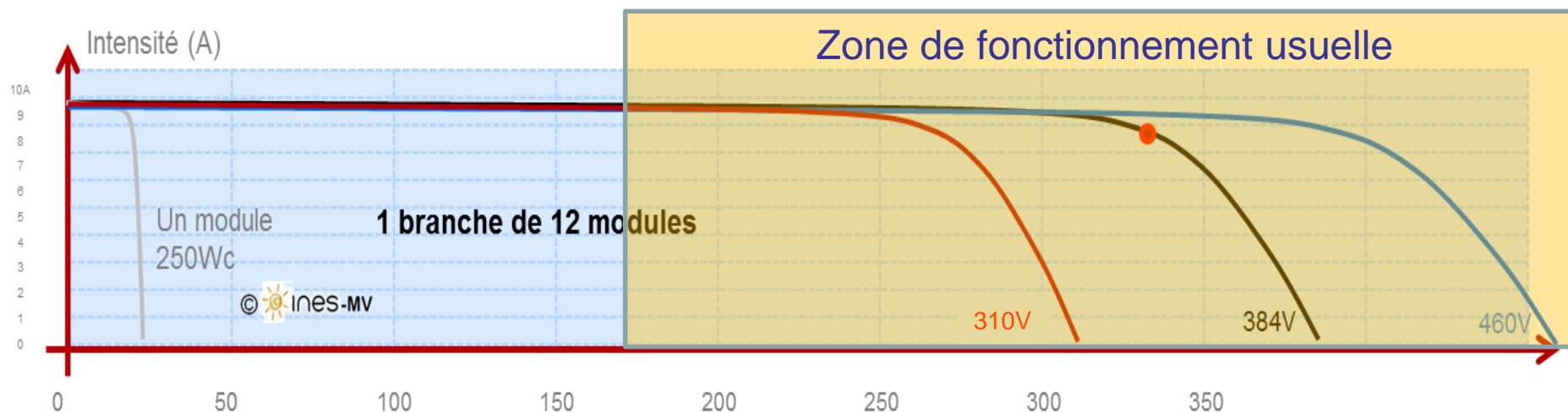
Travail sous tension possible sur 1 module
Travail au voisinage de tension au dessus de 60V

Les domaines de tension



- * TBTS: Très Basse Tension de Sécurité
Polarité non liée à la terre → travail sans protection possible jusqu'à 60V
- * TBTP: Très Basse Tension de Protection
Polarité liée à la terre → travail sans protection possible jusqu'à 30V

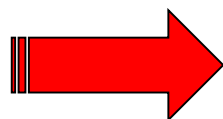
→ Travail sous tension sur un module autorisé !



Il existe des milliers de modules différents

Il existe presque autant d'onduleurs

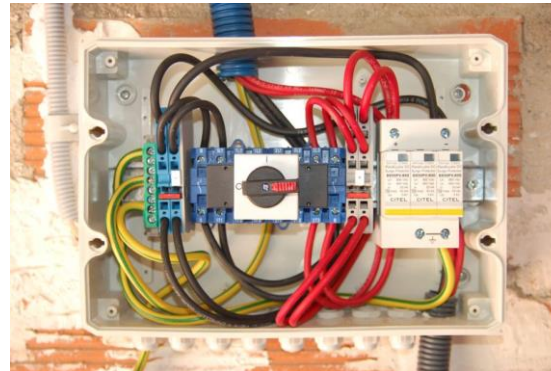
L'association et la configuration est propre à chaque installation


















Comment se prémunir des risques inhérents aux installations photovoltaïques?

Matériel isolé ou IP2x

- ▶ L'ensemble du matériel ou de l'installation doit être à double isolation ou isolation renforcée.
- ▶ Aucune partie ou composant ne doit être accessible à main nu. Par conséquent le matériel doit disposer d'un Indice de Protection (IP) contre les corps solides supérieur ou égal à 2 (IP2x)
 - ▶ Premier chiffre: 2 → corps solide de \varnothing 12,5mm
 - ▶ Deuxième chiffre: X → corps liquide non défini

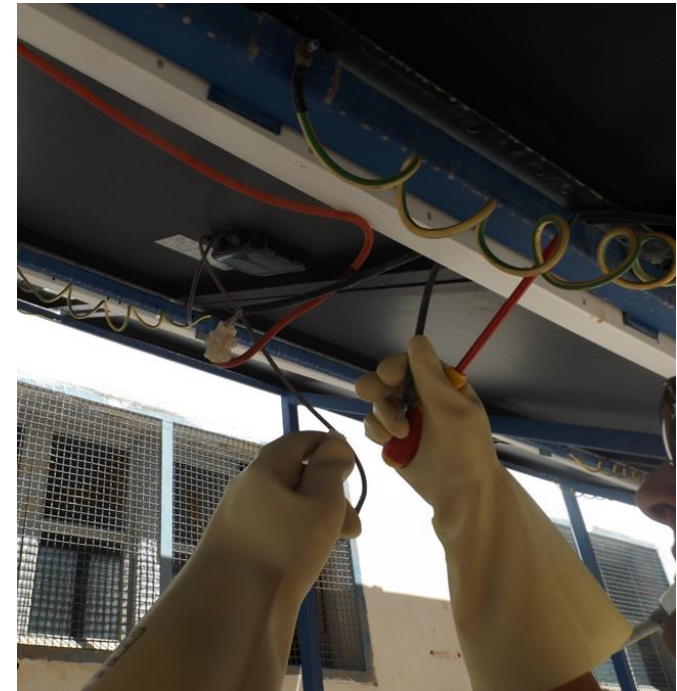
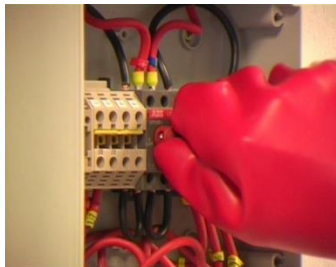


1 ^{er} chiffre protection contre les corps solides	2 ^e chiffre protection contre les corps liquides
1  protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm	1  protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau (condensation)
2  protégé contre les corps solides supérieurs à 12,5 mm	2  protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° de la verticale
3  protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm	3  protégé contre l'eau de pluie jusqu'à 60° de la verticale
4  protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm	4  protégé contre les projection d'eau de toutes directions
5  protégé contre les poussières (pas de dépôt nuisible)	5  protégé contre les jets d'eau de toutes directions à la lance
6  totalement protégé contre les poussières	6  protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer
Exemple	
 IP 30.D protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm pas de protection protégé contre l'accès d'un outil \varnothing 1 mm	
7  protégé contre les effets de l'immersion temporaire	8  protégé contre les effets de l'immersion permanente

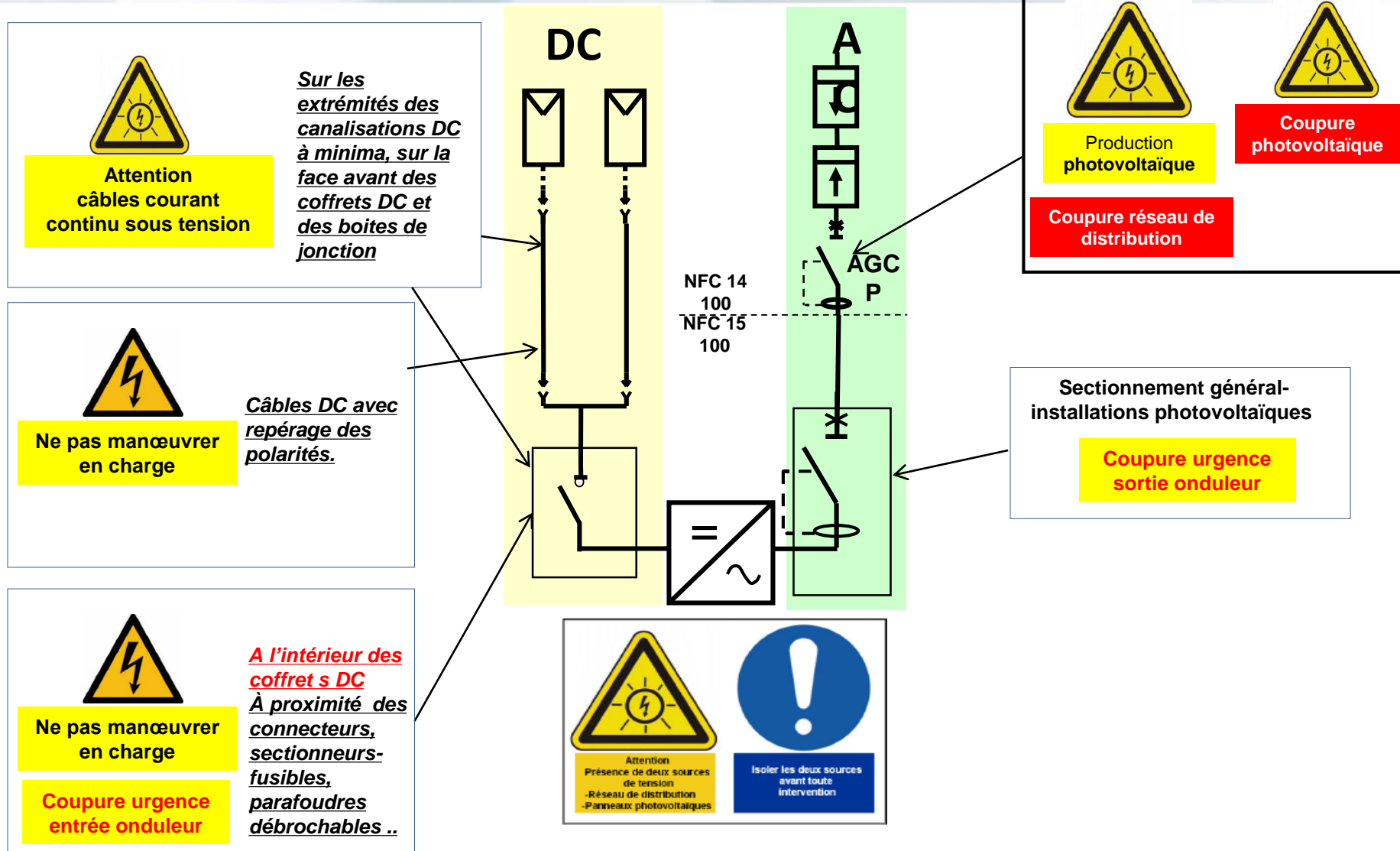
L'installateur, doit vérifier la conformité de son matériel et de sa mise en œuvre.
L'exploitant doit veiller aux dégradations des enveloppes intérieures et extérieures.
L'intervenant doit contrôler l'isolation avant toute intervention

Utilisation des EPI

- ▶ **Recours aux Equipements de Protection Individuelle EPI**
 - ▶ Utilisation d'équipements de protection individuelle (gants isolants, écran facial,...)
 - ▶ Utilisation de matériel de sécurité (outils isolants, vérificateur absence de tension, banderoles de signalisation,...)
- ▶ **Coupure et isolation de la partie en défaut** (sous 60V si possible)
- ▶ **Réparation du défaut**



Prévenir le danger: Signalisation et étiquetage

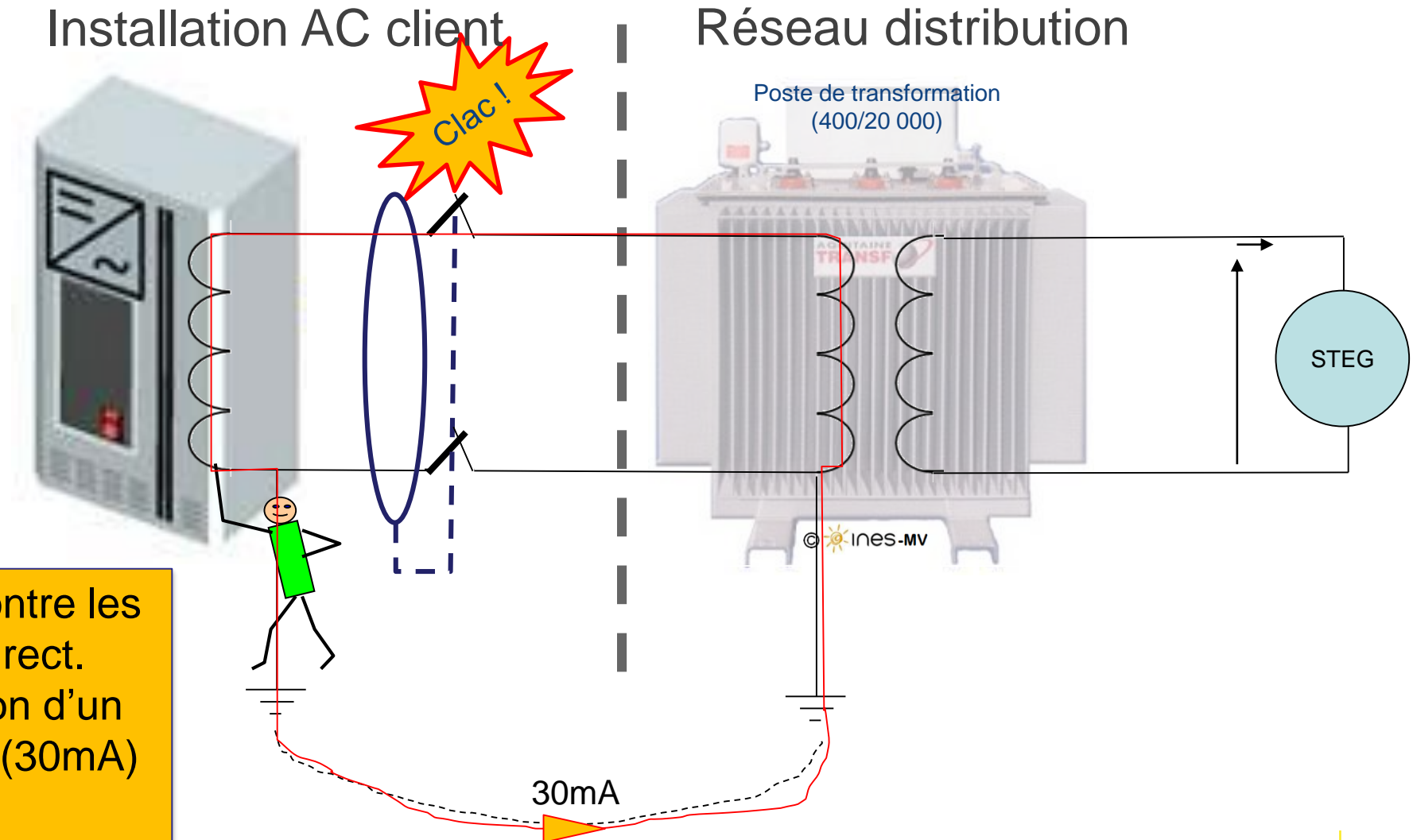


Protection des personnes en Basse Tension

Côté AC: Différentiel de 30mA

Côté DC: Potentiel flottant et Isolation renforcée

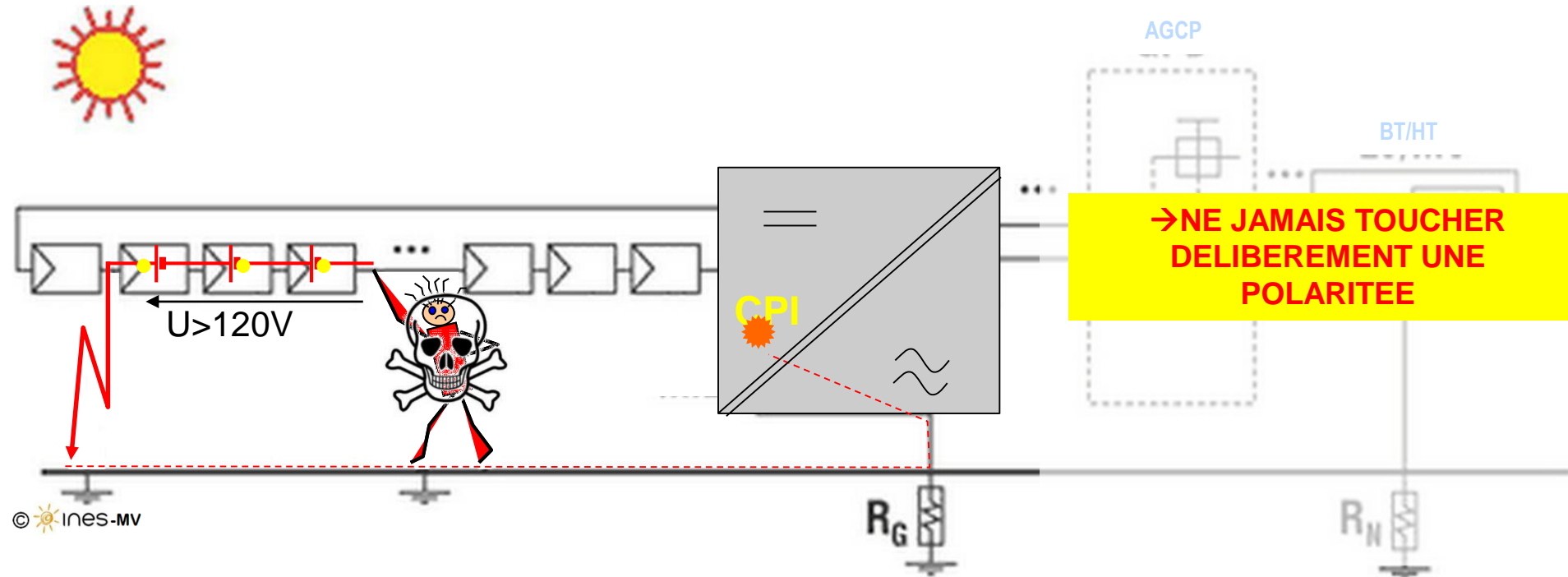
Protection des personnes coté AC: Régime de terre TT et Protection Différentielle



Protection différentielle contre les contacts directs ou indirect.
Déclenche dès l'apparition d'un courant de fuite à la terre (30mA)

Protection des personnes coté DC en Basse Tension (BT):

- Par isolation double et personnel qualifié
- Par régime de terre à potentiel flottant



Côté DC : Isolation galvanique entre les polarités DC et les masses avec mise à la terre des masses

- Le régime de terre est dit à « potentiel flottant »
- Les masses sont mises à la terre pour maintenir une équipotentialité entre les masses lors de surtensions.

En cas d'ERREUR de l'intervenant: En cas de contact avec un conducteur actif, l'intervenant est protégé (impédance élevée entre les terre et les polarités).

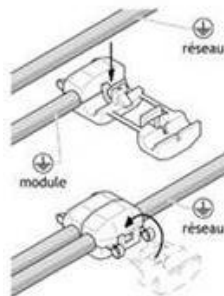
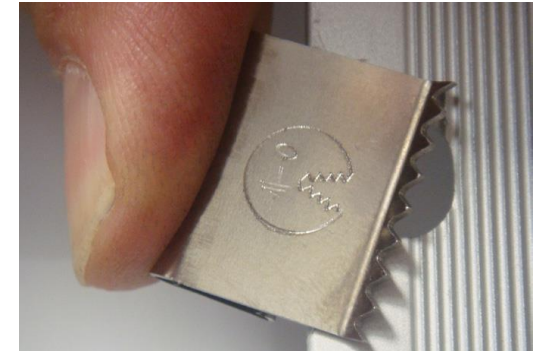
Si il y a déjà un défaut, l'intervenant peut être soumis à une tension qui peut atteindre plusieurs centaines de volts **danger d'électrisation.**

3. Liaison équipotentielle des masses métalliques contre les différences de potentiels

- ▶ Cadre des modules, onduleur, structure et chemin de câbles.
- ▶ Section 6mm² minimum (vert jaune).
- ▶ Raccordement sur la borne principale de terre.
- ▶ Suivre la préconisation fabricant.
- ▶ Attention aux **couples électrolytiques**!
- ▶ Attention aux **boucles d'inductions**!



Griffe pour la liaison entre cadre et rail (Mobasolar)

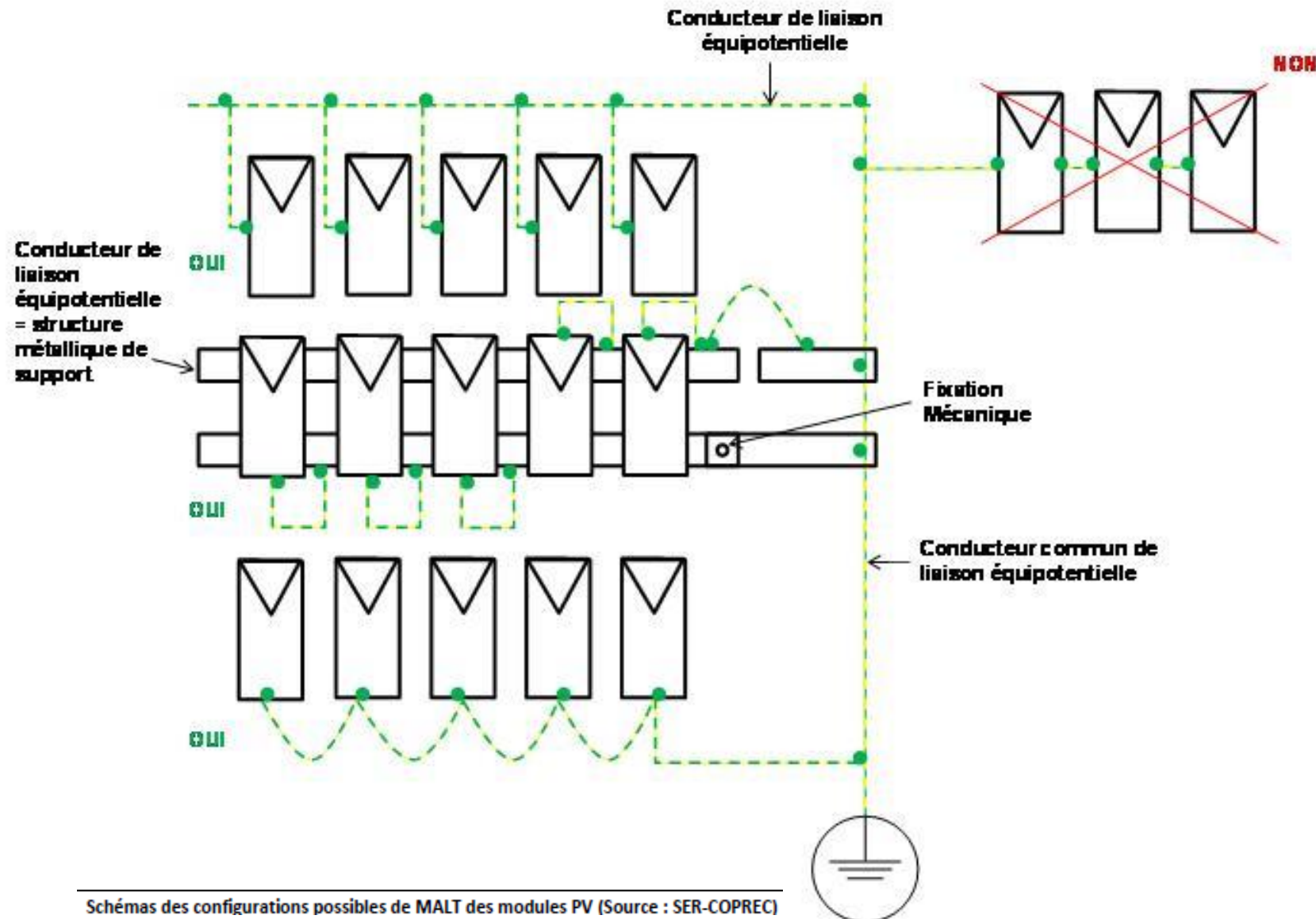


Rondelle bimétal

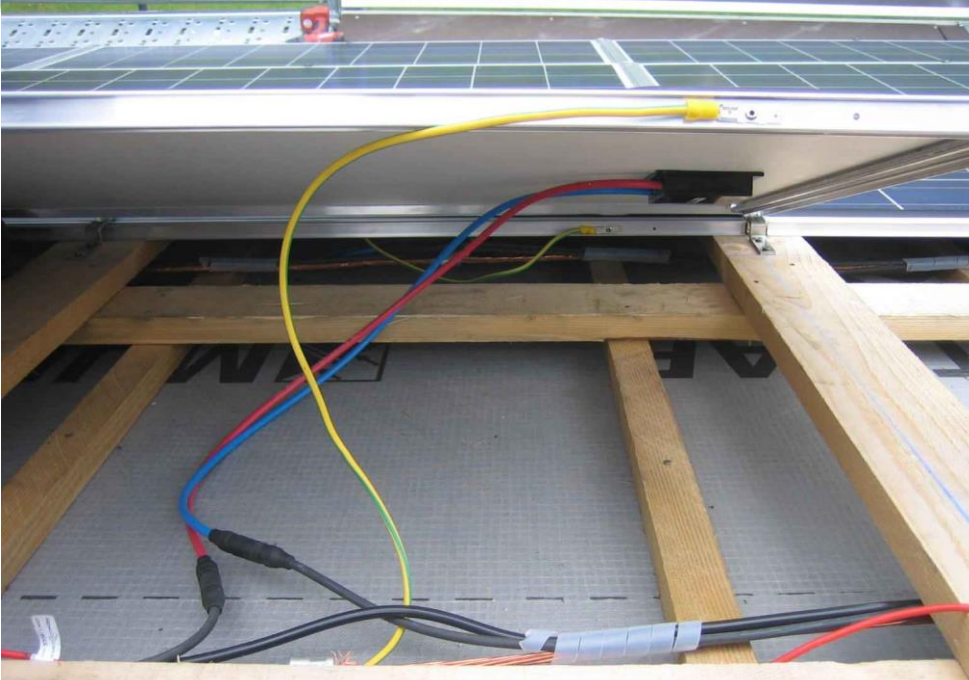


Griffe pour la liaison entre LEP et cadre (Rayvolt)

Liaisons équipotentielle



Photos MALT et traitement boucle de champ



Protection des biens contre les surintensités:

- au niveau du module
- au niveau d'un champ
- au niveau de l'installation

Protection des biens coté AC :

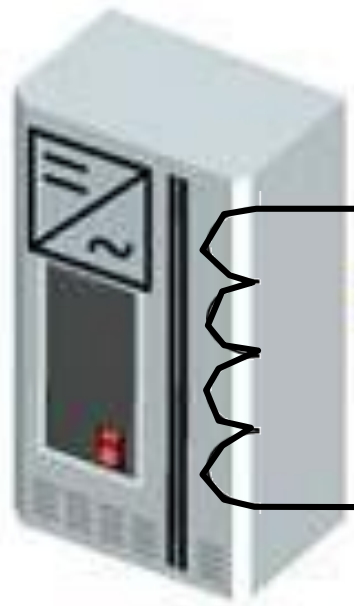
→ par fusible ou disjoncteur



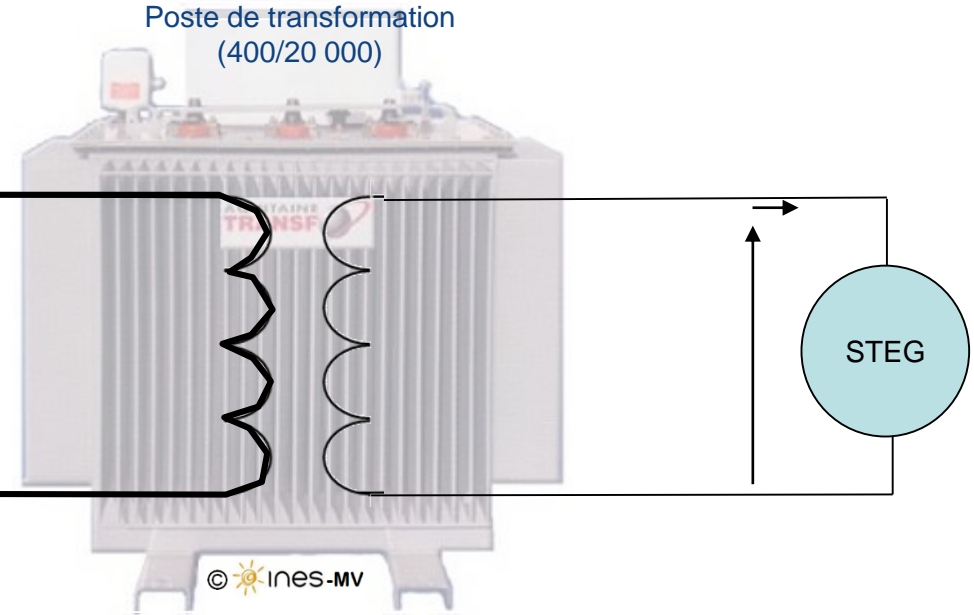
Section minimale selon In disjoncteur

In (A)	S mm ²
10	1,5
16	1,5
20	2,5
25	2,5
32	4
40	4
50	6
63	6

Installation AC client



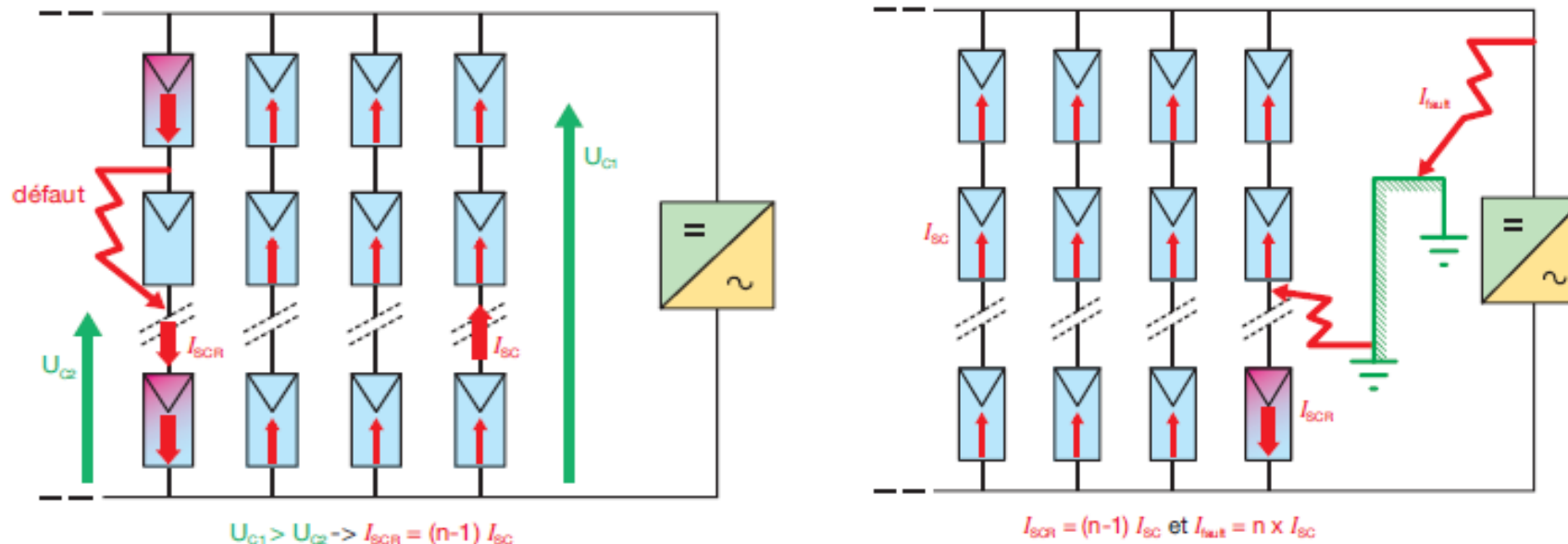
Réseau distribution



Protection traditionnelle systématique type disjoncteur ou fusible.
In calibré sur I_{max} onduleur ou 1,1 du courant à puissance nominale
Rappel, un diamètre minimal de fil est à respecté selon le calibre nominal de la protection In

Au niveau d'un champ PV: Problème de surintensité lié au courant retour module (I_{rm})!

- ▶ Si plus de 2 branches en parallèles, la question à se poser:
→ Faut-il une protection par fusible ou disjoncteur DC ?

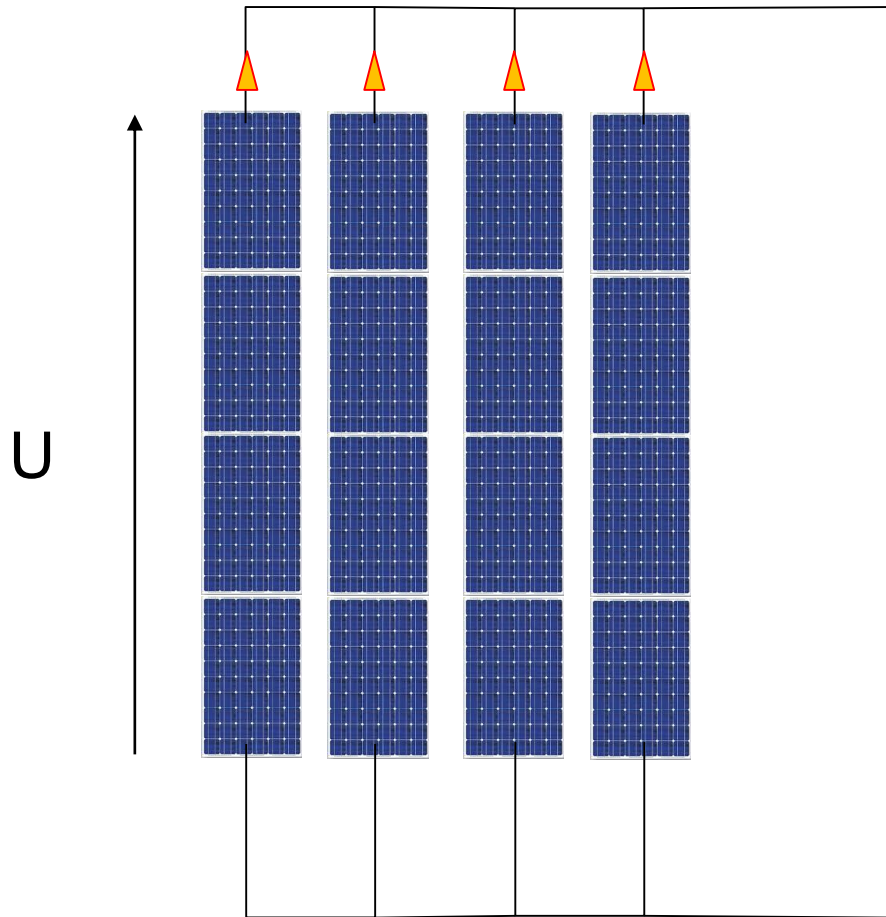


Remarque: les modules ne supportent pas forcément $2 \times I_{ccstc}$

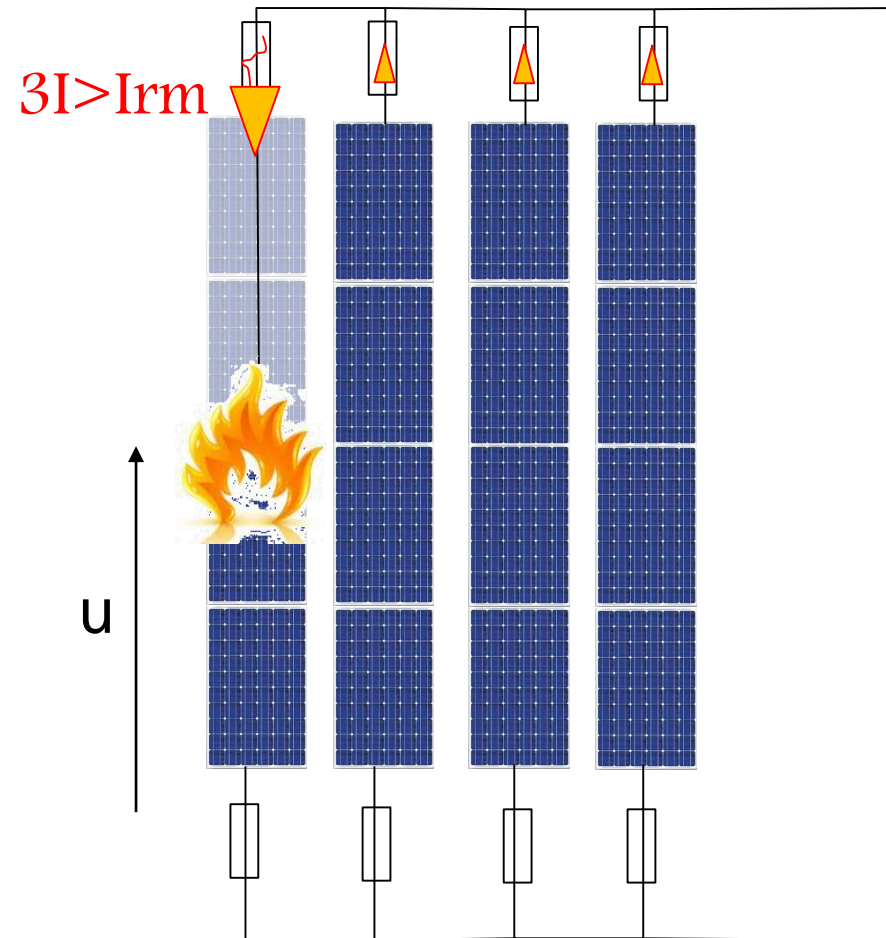
Si Protection il y a: elle doit être sur chaque polarités.
Calcul et méthode selon C15-712-1

Plus de 2 Branches: Protection contre les courants inverses

► Fonctionnement Normal



► Fonctionnement Anormal



Si Protection il y a: elle doit être sur chaque polarités.
Calcul et méthode selon C15-712-1

Caractéristiques électriques sous les conditions STC (AM 1,5, 1 000 W/m², 25°C):

Référence module		BSO-245	BSO-250	BSO-255	BSO-260	BSO-265
Puissance nominale	P_{MPP} [W]	245	250	255	260	265
Courant de court-circuit	I_{CC} [A]	8,70	8,80	8,90	9,00	9,10
Tension en circuit ouvert	U_{CO} [V]	37,8	37,9	38,1	38,3	38,5
Courant au point de puissance maximale	I_{MPP} [A]	8,10	8,20	8,30	8,40	8,50
Tension au point de puissance maximale	U_{MPP} [V]	30,2	30,5	30,7	31,0	31,2
Rendement cellule	η_C [%]	16,8	17,1	17,5	17,8	18,1
Rendement module	η_M [%]	15,0	15,3	15,6	15,9	16,2
Tolérance de puissance en sortie		0/+5 W				
Courant inverse maximum		13 A				
Voltage maximum du réseau		1 000 V (Classe d'application A)				



≠ 2Isc



Choix des protections contre les surintensités

Aperçu de la méthode selon la norme NF C15-712-1

Etape 1

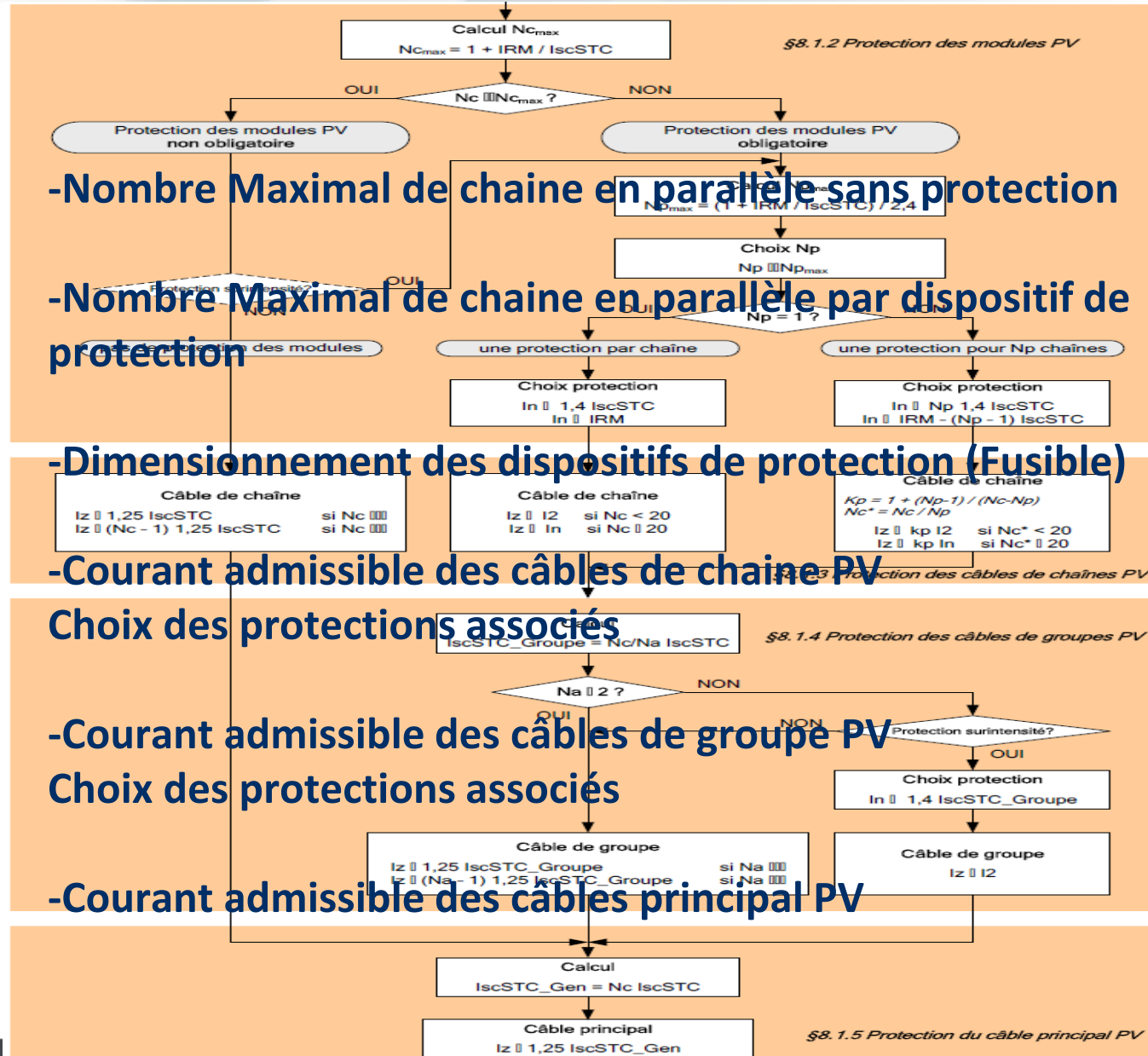
Etape 2

Etape 3

Etape 4

Etape 5

Etape 6



Protections traditionnelles:

- ✓ Protection des personnes par le régime de NEUTRE à la terre et protection différentielle 30mA
- ✓ Protection des surcharges et court circuit par disjoncteurs

Recommandation: contrôler la sécurité électrique de l'installation domestique (Différentiel 30mA)

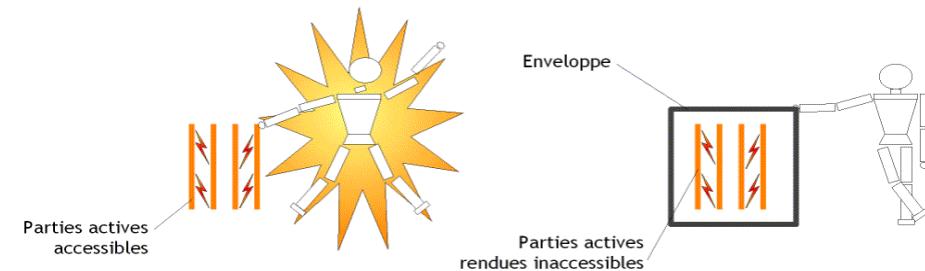
Rappels Spécificités PV

- ▶ Impossibilité d'interrompre le générateur
- ▶ Courant continu → Arc électrique difficile à interrompre
 - ▶ I_{cc} à peine supérieur (de 10%) à I_{mpp}
 - ▶ I_{cc} et I_{mpp} variable f(ensoleillement)



Réponses spécificité PV

- ▶ Polarité indépendante à la terre
- ▶ Matériel spécifique PV (Normes Produits)
 - ▶ Tenue au courant I_{cc}
 - ▶ IP2X
 - ▶ Double isolation
- ▶ Formation des intervenants
 - ▶ Habilitation BR, BP photovoltaïque (la publication C18-510 est devenu une norme NF-18-510)
- ▶ TST possible si $U_{dc} < 60V$



Attention aux 2 sources de tensions

Procédure d'intervention

- ▶ **On coupe l'AC en premier** pour éviter les arcs électriques!
- ▶ Et à la mise en service c'est l'inverse !

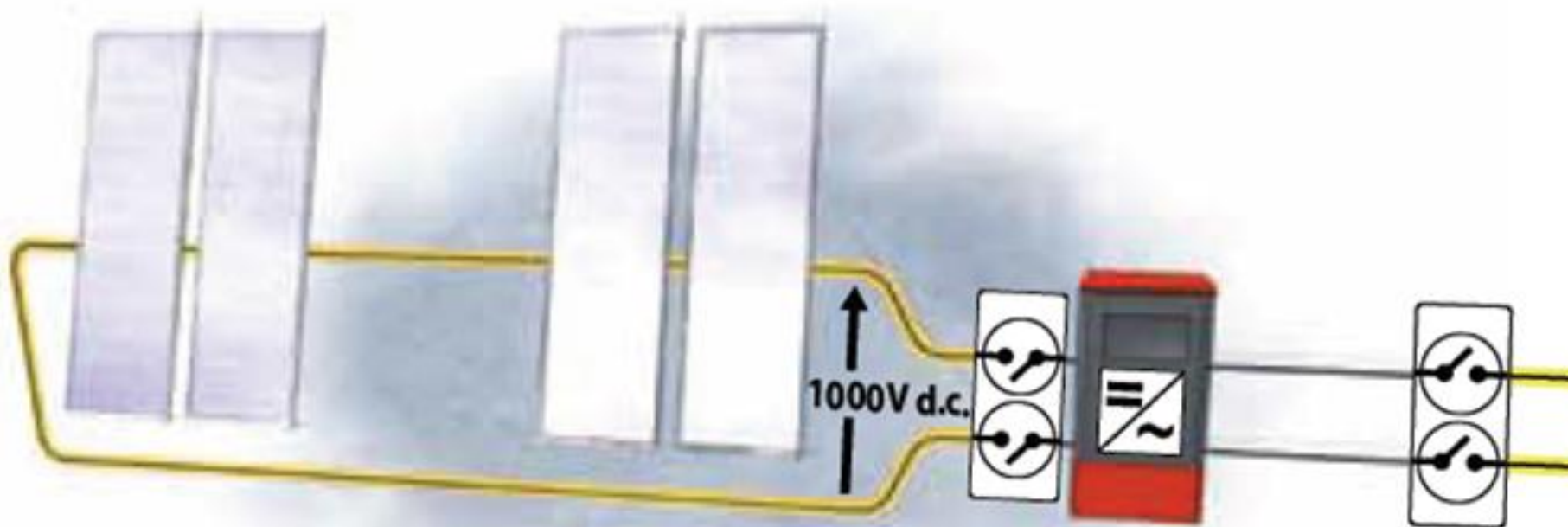


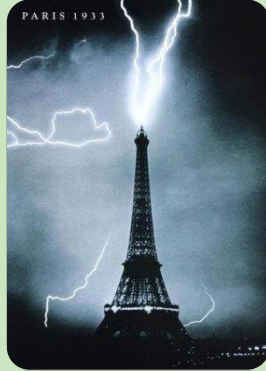
Fig. 14c : Fonctionnement de l'installation après coupure *d.c.*
en amont de l'onduleur et coupure du réseau alternatif

Protection des biens contre les surtensions liées à la foudre:

- Pourquoi une protection foudre ?
- Qu'est ce qui est systématique ? → le câblage DC
 - Boucle d'induction
 - Liaison équipotentielle des masses
- Qu'est ce qui n'est pas systématique ? → le parafoudre
 - Quand mettre un parafoudre ?
 - Une bonne protection dépend d'un bon montage: règles de mis en œuvre

Coups de foudre normalisés

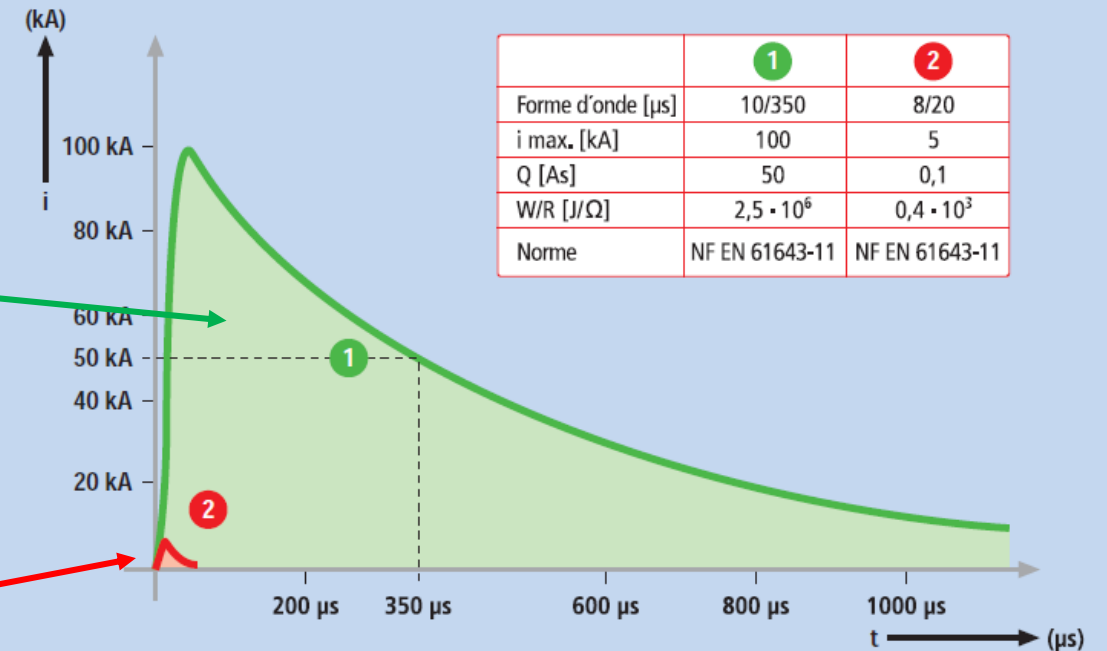
Coup de foudre direct: Type 1



Coup de foudre indirect, Type 2



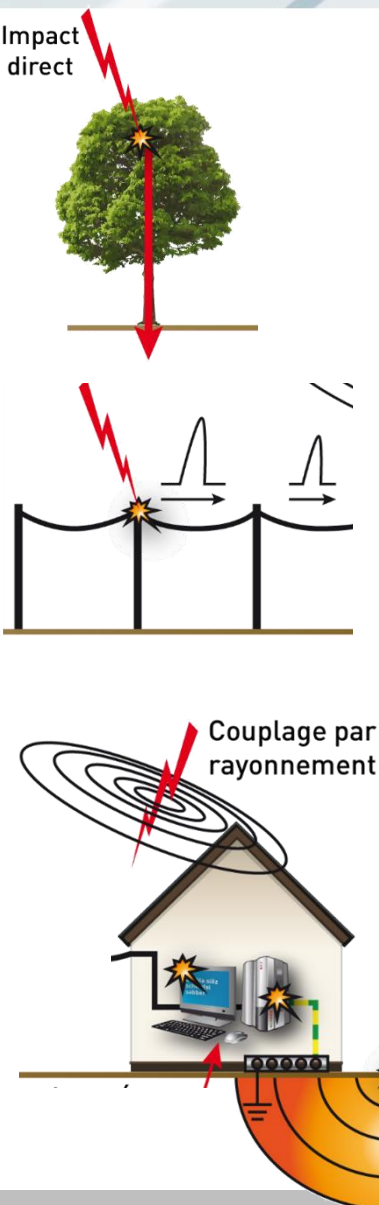
Comparaison des impulsions d'essais normalisées.



Type 1, type 2:

Des niveaux d'énergies différentes
=
Des performances matériels différentes

Effets de foudre et dispositifs de protection:



► Surtension **Direct** du coup de foudre:

- on va chercher à capter et drainer la foudre

→ paratonnerre + parafoudre type 1

Remarque: (le parafoudre ne protégé pas des effets indirects induits)

► Surtension **Induite ou Indirect** du coup de foudre :

- Coup de foudre indirect

→ paratonnerre type 2

► 3 effets induits

1/ Champ magnétique Induit coté AC et DC

→ Réduire les boucles d'inductions

→ Parafoudre type2 / Parasurtenseur

→ Mise à la terre des masses (cadre et structure)

2/ Remonté de terre

→ équipotentialité des terres

→ équipotentialité des masses (cadre et structure)

3/ Champ électrostatique → Parasurtenseur (sans objet en PV ou intégré à l'onduleur)

QUI?



BE,
Installateur
spécialisé



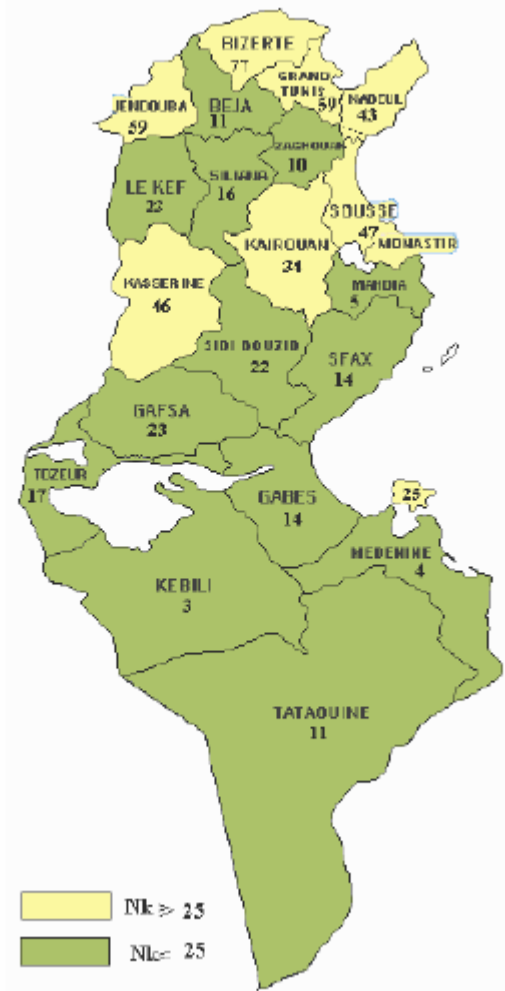
Installateur
PV

► Quand mettre un Parafoudre ?

Quand mettre un parafoudre coté AC

Niveaux kérauniques en Tunisie

Note - Pour obtenir la densité de foudroiement correspondante (N_g), il suffit de diviser N_k par 10.



Rappel C15-712HA

Caractéristique de l'installation	Ng ≤ 2,5 ou Nk ≤ 25		Ng ≥ 2,5 ou Nk ≥ 25	
	Côté DC	Côté AC	Côté DC	Côté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 ⁽¹⁾	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 ⁽¹⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2	Obligatoire Type 2 ⁽²⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Peu utile Type 2	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2

Note : $N_k = N_g \times 10$

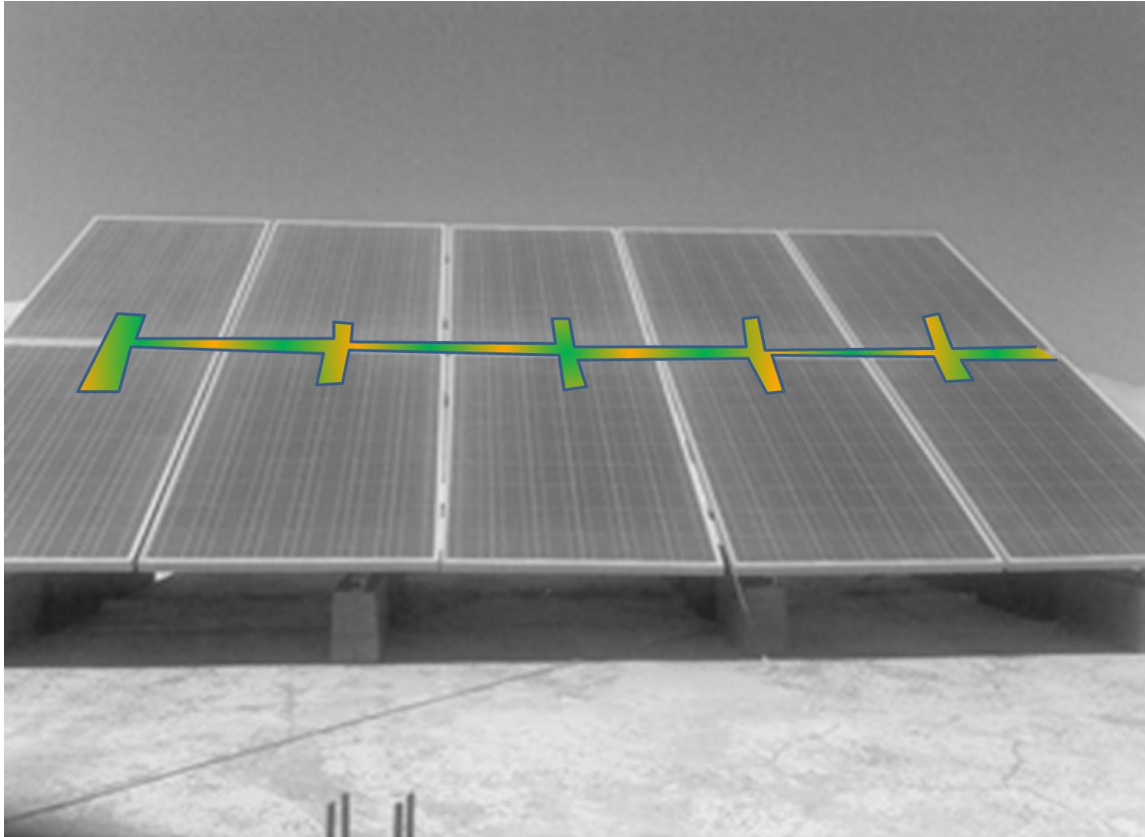
Côté AC:

- Zone verte: parafoudre peu utile
- Zone jaune: recommandé (si il n'est pas déjà présent sur l'installation de consommation)

Côté DC:

- Zone verte: parafoudre peu utile sur les petites installations (<5kWc)
- Zone jaune: recommandé ou obligatoire (si il n'est pas déjà présent sur l'installation de consommation)

Dans tous les cas...



Réduire les boucles d'inductions
lors de la mise en œuvre!

► Travaux en hauteur

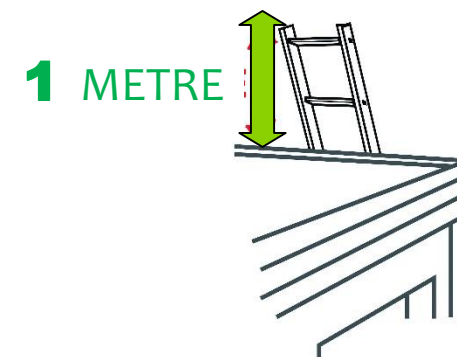
Dispositions de sécurité pour l'utilisation des échelles

Les échelles doivent être utilisées de façon à permettre aux travailleurs de disposer d'une prise et d'un appui sûrs

Le port de charge doit rester exceptionnel et limité à des charges légères et peu encombrantes ; sans empêcher le maintien d'une prise sûre

UTILISATION DÉROGATOIRE

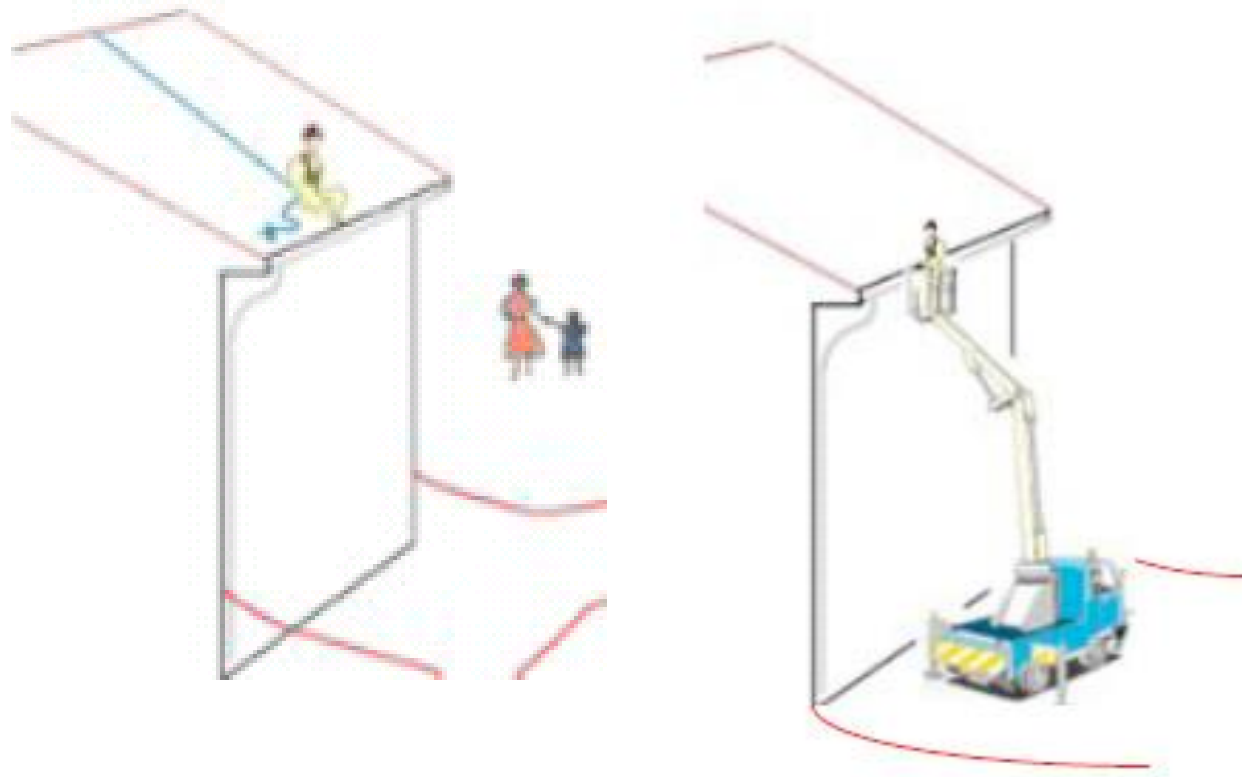
- En cas d'impossibilité technique de recourir à un équipement de protection collective
- Si après évaluation des risques, le risque est faible et les travaux de courte durée et non répétitifs.



Dispositions de sécurité pour l'installation et la maintenance d'un équipement photovoltaïque

5. Précautions contre les chutes d'objet :

Délimitation des zones de travaux (banderole de balisage de zones dangereuses vis-à-vis des risques de chutes d'objets)





Merci de votre attention

INES Evaluation et Formation
Auteur : Maxime VALLIN

Partie 4

Etude normative des installations raccordées au réseau

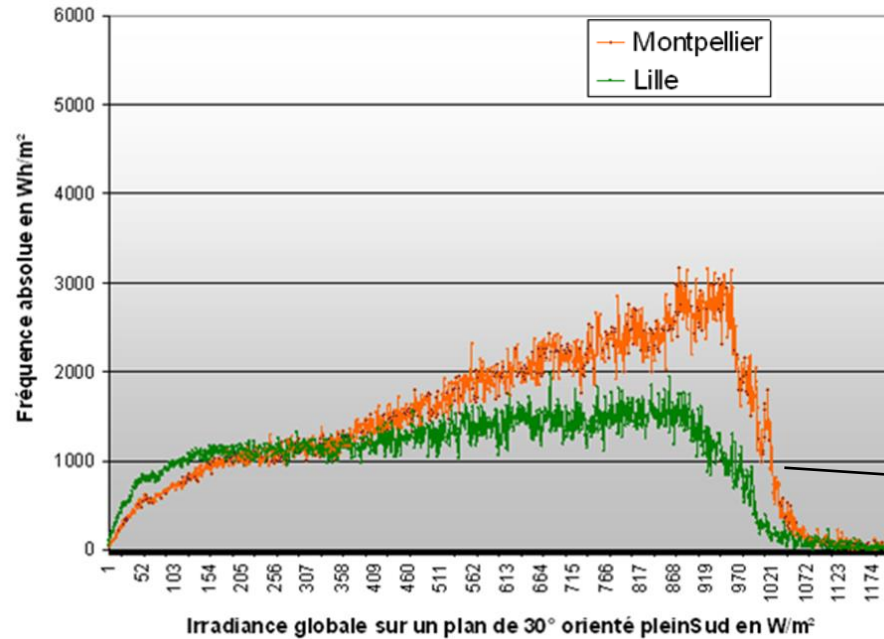


Formation FCPV13
Initiation à l'autoconsommation



17 et 18 septembre 2013

NORMES PRODUITS



→ L'ensoleillement dépasse régulièrement les 1000W/m²

► Règles générales:

- Appareillage et protection AC usuels

→ **NF C 15-100**

- Appareillage et protection DC spécifique PV

→ **NF EN 60947**

→ **Double isolation**

→ En conditions réelles les valeurs d'exposition peuvent dépasser les Conditions Standards de Test (STC), il faut donc prendre une marge de sécurité pour le matériel utilisé sur :

- **Courant assigné > 1,25 I_{cc} ***

- **Tension assigné > 1,15 V₀ ***

* Par défaut en absence d'autre information

Zoom

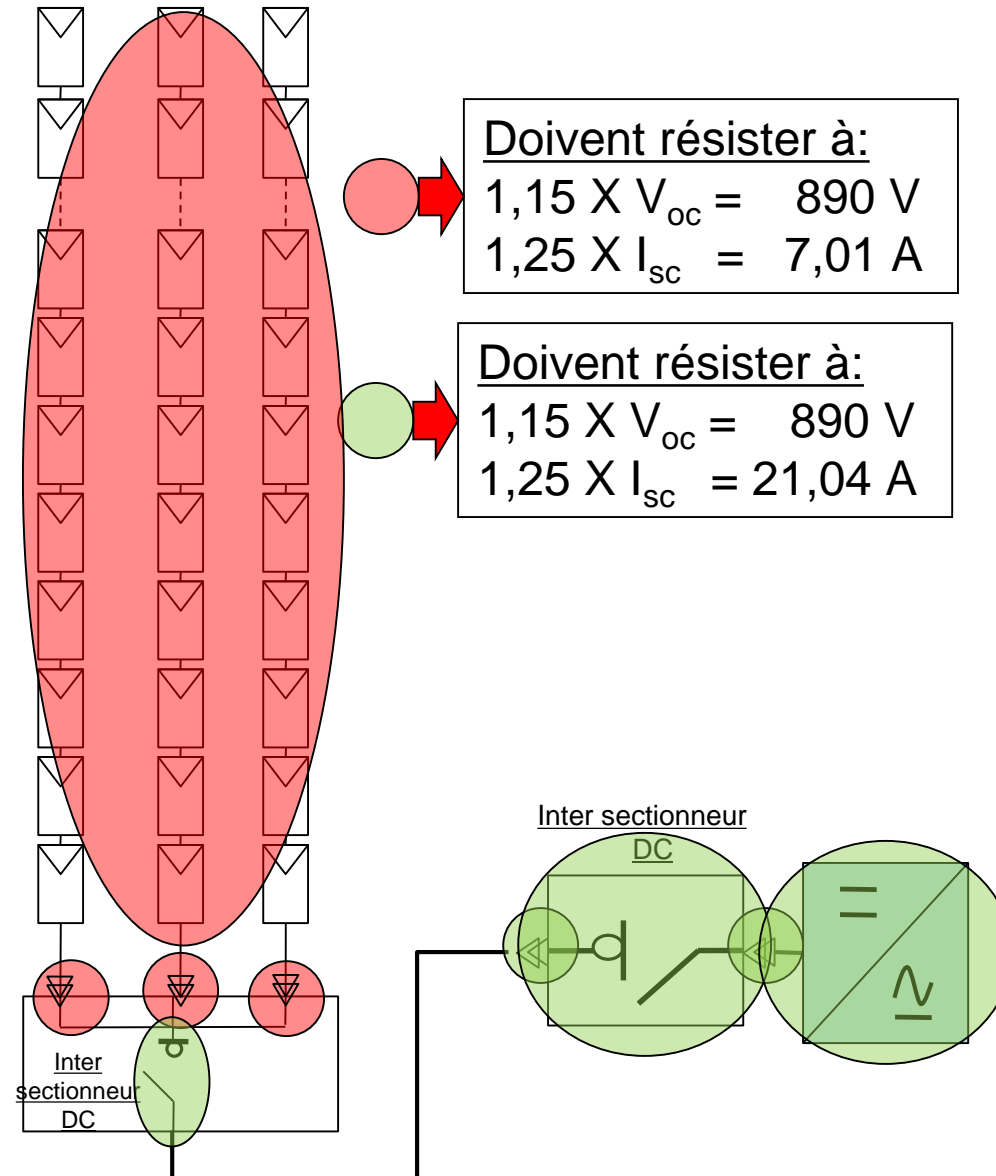
Modules, Câbles, Connecteur, Parafoudres, Fusibles, DC box, Onduleur

► Exemple d'une installation 10kWc

Modules PV	
P (watt)	215Wc
V _{oc} (Volt)	51,6 V
I _{sc} (A)	5,61 A

Branches PV	
P (watt)	15x 215 Wc
V _{oc} (Volt)	15x 51,6 V
I _{sc} (A)	5,61 A

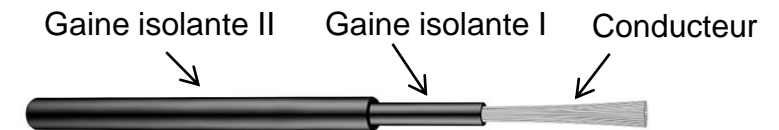
Champ PV	
P (watt)	9675 Wc
V _{oc}	774 V
I _{sc} (A)	16,83 A



► Câbles PV cf C32-502

- **Souple** (PV1000F, H07RN-F), RO2V possible en intérieur
- **Unifilaire**
- **Stable aux UV (AN3)**
- **Non propagateur de la flamme (C2 minimum)**
- **T° permanent de l'âme 90° C mini**
- **$\Delta U < 3\%$ sous U_{MPP} et I_{MPP}**

(Calcule selon C15-100 isolation PR)



► **Modules NF EN 61730**

- **Silicium cristallin** (mono ou poly)
 - NF EN 61215
- **Couche mince**
 - NF EN 61646



► Connecteurs NF EN 50521

- Étiquette signalant « ne pas déconnecter en charge »
- IP2x ouvert
- IP 54 fermé
- Protection mécanique contre les déconnexions fortuites si accessible
- Assimilé à un sectionneur unipolaire



► Parafoudres

UTE C15-443 et guide C61-740

- Coté AC, NFC 61643-11
- Coté DC, UTE C 61-740-51

Dispositif de déconnection

$U_p < 80\% U_w$

$U_{cpv} < U_{ocmax}$

U_p niveau de prot du parafoudre

U_w tenue au choc du matériel

U_{cpv} tension max admissible du parafoudre

U_{ocmax} tension max du système PV (1,3U0)



Normes Produits

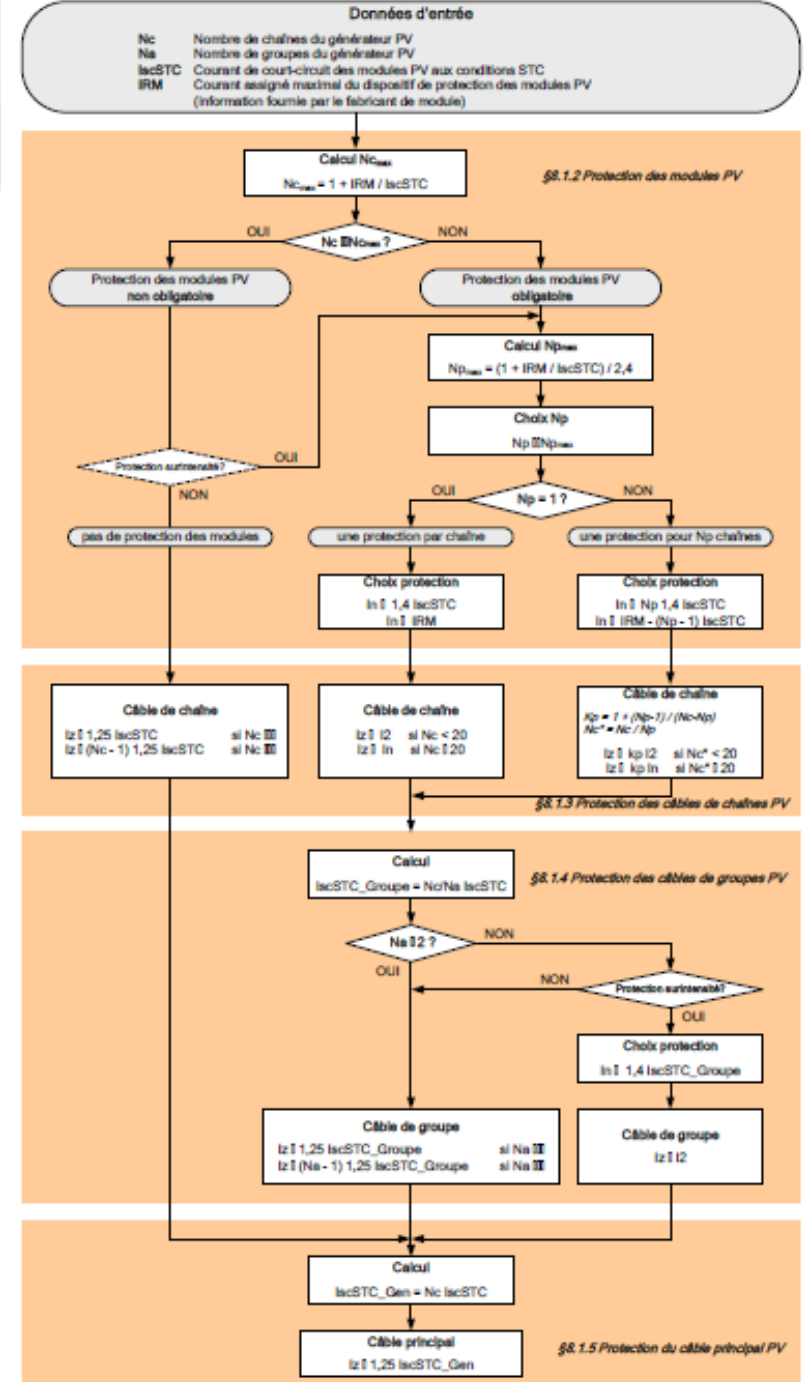


► Fusibles lorsque plus de 2 strings en //.

- Fusion rapide
- Spécifique PV (gPV)
- Disjoncteur DC possible



TD protection des surintensités suivant la C15 712.



Protéger le système PV contre les surintensités

- Dans une installation avec plusieurs chaînes de module PV en parallèle, les modules doivent être protégés contre l'effet des courants inverses pouvant prendre naissance dans les chaînes en défaut.



Les modules peuvent supporter un courant I_{RM} qui est défini par le constructeur (selon la norme NF EN 60730-2)



Les modules peuvent-ils être exposés à un courant supérieur à I_{RM} ?
Cette question doit être posée à partir de 3 branches en parallèles.



On peut dire que si $(Nc - 1) \times I_{scmax} > I_{rm}$ il est nécessaire de protéger le générateur.
Rappel: $I_{scmax} = 1,25I_{scstc}$



La protection peut être de type Fusible ou Disjoncteur et devra être placée sur chaque polarité de la chaîne.



Le courant nominal I_N de la protection doit être tel que $I_B \leq I_N \leq I_{RM}$,
D'après le guide de l'UTE C15-712-1 :

- $I_B = 1.45 \times I_{cc}$ pour les fusibles
- $I_B = 1.3 \times I_{cc}$ pour les disjoncteurs

► Onduleurs :

- Protection de découplage : **VDE126-1-1** ou **VDE 0126**
- Interface réseau : CEI 61727
- Compatibilité électromagnétique : EN55014
- Harmoniques : CEI 61000-3-2
- Sécurité : EN 60950
- CEI 62109
- Certificats de tests délivrés par laboratoire agréé

► A proximité de l'onduleur:

Dispositif de coupure d'urgence
omnipolaire et simultanée pour chaque
circuit AC et DC

- **Coffret DC**
 - Interrupteur sectionneur
 - Parafoudre intégré éventuel
- **Coffret AC**
 - Interrupteur sectionneur
 - Disjoncteur et différentiel éventuels
 - Parafoudre intégré éventuel

